

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 05142205 A

(43) Date of publication of application: 08.06.1993

(51) Int. Cl. G01N 27/90

(21) Application number: 04111359
(22) Date of filing: 30.04.1992
(30) Priority: 06.05.1991 US 91 696455

(71) Applicant: GENERAL ELECTRIC CO <GE>
(72) Inventor: HEDENGREN KRISTINA H V
MCCARY RICHARD O
ALLEY ROBERT P
CHARLES RICHARD J
KORNRUMPF WILLIAM P
YOUNG JOHN D

(54) EDDY CURRENT SURFACE MEASURING ARRAY

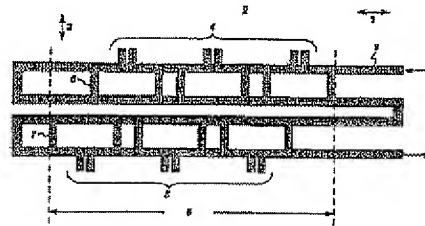
(57) Abstract:

PURPOSE: To provide a probe array having spatial correlation of integrated multilayer.

CONSTITUTION: An eddy current probe array 0 has eddy current probe elements 4, 5 having a plurality of spatial correlation disposed in a flexible interconnecting structure in sufficient degree to acquire a plurality of separate eddy current measured values having spatial correlation to non-destructively detect a flaw near the surface. Since a plurality of substantially the same elements of precise manufacture are sufficiently dis-

tributed, the area of a conductor covered by the effective width of the array can be inspected by one time unidirectional scanning. The array structure can be formed in the same shape having flexibility to inspect the large and irregularly bent conductive surface.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO



(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-142205

(43)公開日 平成5年(1993)6月8日

(51)Int.Cl.⁵

G 0 1 N 27/90

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

9118-2J

審査請求 未請求 請求項の数36(全 14 頁)

(21)出願番号 特願平4-111359

(22)出願日 平成4年(1992)4月30日

(31)優先権主張番号 6 9 6 4 5 5

(32)優先日 1991年5月6日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 390041542

ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ

GENERAL ELECTRIC CO
MPANYアメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
クタディ、リバーロード、1番(72)発明者 クリステイーナ・ヘレナ・バルボーグ・ヘ
デングランアメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
クタディ、ベイカー・アベニュー・イース
ト、2120番

(74)代理人 弁理士 生沼 徳二

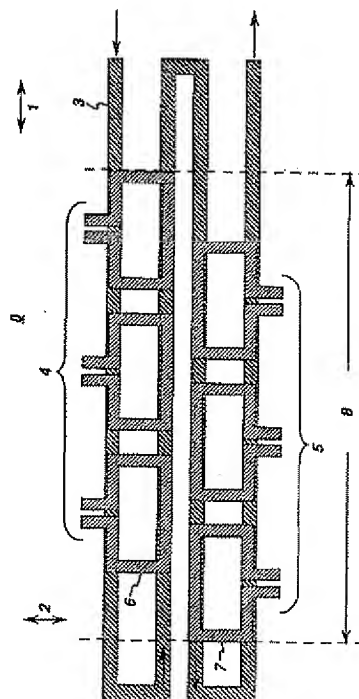
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 渦電流表面測定配列

(57)【要約】 (修正有)

【目的】 多層の一体化した空間的な相関性を持つプローブ配列を提供する。

【構成】 渦電流プローブ配列0が、表面近くのきずの非破壊的な検出の為、空間的な相関性を持つ別々の複数個の渦電流測定値を収集するのに十分な程度に、可撓性の相互接続構造内に配置された複数個の空間的な相関性を持つ渦電流プローブ素子4、5で構成される。複数個の精密製造の略同一の素子が十分に分布していることにより、1回の一方向の走査で、配列の有効幅によってカバーされる導体の区域の検査を行なうことが出来る。配列構造は、従来の手段によっては検査することの出来ない大きくて不規則な弯曲した導電面の検査が出来る様に、可撓性を持って同形になることが出来る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 空間的な相関性を持つ複数の電気的に相互接続された渦電流感知手段と、該複数の感知手段をその中に配置した可撓性構造とを有する渦電流表面測定配列。

【請求項2】 渦電流感知手段が、検査される導電面を介して電磁結合された精密製造の駆動及び感知素子で構成される請求項1記載の渦電流表面測定配列。

【請求項3】 駆動素子が交流駆動手段によって電気的に駆動される請求項2記載の渦電流表面測定配列。

【請求項4】 感知素子が出力導線に電気接続されている請求項2記載の渦電流表面測定配列。

【請求項5】 精密製造の感知素子が実質的に同一である請求項2記載の渦電流表面測定配列。

【請求項6】 前記駆動素子及び選択的に相互接続された精密な感知素子が、一体の多層構造内の少なくとも1層内に配置されている請求項2記載の渦電流表面測定配列。

【請求項7】 少なくとも1つの駆動素子が検査面に一番近い層内に配置されている請求項6記載の渦電流表面測定配列。

【請求項8】 少なくとも1つの感知素子が検査面に最も近い層内に配置されている請求項6記載の渦電流表面測定配列。

【請求項9】 少なくとも1つの駆動素子が検査面から最も遠い層内に配置されている請求項6記載の渦電流表面測定配列。

【請求項10】 少なくとも1つの感知素子が検査面から最も遠い層内に配置されている請求項6記載の渦電流表面測定配列。

【請求項11】 少なくとも1つの駆動素子が、少なくとも1つの感知素子を含む層の間に挟まる少なくとも1つの層内に配置されている請求項6記載の渦電流表面測定配列。

【請求項12】 少なくとも1つの感知素子が、少なくとも1つの駆動素子を含む層の間に挟まる少なくとも1つの層内に配置されている請求項6記載の渦電流表面測定配列。

【請求項13】 感知素子が複数のコイル素子で構成されている請求項6記載の渦電流表面測定配列。

【請求項14】 少なくとも2つのコイル素子が同じ方向に巻かれている請求項13記載の渦電流表面測定配列。

【請求項15】 少なくとも2つのコイル素子が反対向きに巻かれている請求項13記載の渦電流表面測定配列。

【請求項16】 コイル素子が差動モードに電気的に相互接続されている請求項13記載の渦電流表面測定配列。

【請求項17】 当該対の間に相互基準電位を設けるこ

とにより、選ばれた対の同一のコイル素子を事実上接地する様に、コイル素子が電気的に相互接続されている請求項16記載の渦電流表面測定配列。

【請求項18】 コイル素子が絶対モードで電気的に相互接続されている請求項13記載の渦電流表面測定配列。

【請求項19】 感知素子が多層構造内に配置された複数の電気的に相互接続されたコイル素子で構成されている請求項13記載の渦電流表面測定配列。

【請求項20】 コイル素子が互いに向きが傾いている請求項19記載の渦電流表面測定配列。

【請求項21】 コイル素子が互いに整合している請求項19記載の渦電流表面測定配列。

【請求項22】 前記構造が可撓性の多重誘電体層を有し、選ばれた素子が、写真製版製造過程を使って、該誘電体層を通して電気的に相互接続されると共に可撓性の基板に固定されている請求項6記載の渦電流表面測定配列。

【請求項23】 第1の層の素子が直接的に基板の上に配置されている請求項22記載の渦電流表面測定配列。

【請求項24】 第1の層の素子が、前記基板の上に直接的に配置された第1の誘電体層の上に配置されている請求項22記載の渦電流表面測定配列。

【請求項25】 可撓性の基板が、処理の間、支持手段に着脱自在に固定されている請求項22記載の渦電流表面測定配列。

【請求項26】 前記構造がフェライト支持体に固定されている請求項22記載の渦電流表面測定配列。

【請求項27】 前記構造が可撓性のフェライト支持体に固定されている請求項22記載の渦電流表面測定配列。

【請求項28】 前記基板がフェライトである請求項22記載の渦電流表面測定配列。

【請求項29】 前記基板が可撓性フェライトである請求項22記載の渦電流表面測定配列。

【請求項30】 表面感知多層構造が、導電性検査面と合う様に形成された堅固な面を有する支持材料に外側に固定されている請求項6記載の渦電流表面測定配列。

【請求項31】 形成された材料の少なくとも一部分がフェライトである請求項30記載の渦電流表面測定配列。

【請求項32】 前記複数の略同一の感知手段が、その下にある検査面の走査を完全にカバーする位に十分に分布している請求項30記載の渦電流表面測定配列。

【請求項33】 前記走査が検査面に沿って一方向に行なわれる請求項30記載の渦電流表面測定配列。

【請求項34】 予定の方向の増分的な走査によって走査がカバーされる請求項33記載の渦電流表面測定配列。

【請求項35】 前記分布は、前記感知手段を走査方向

に対して法線方向に互い違いにすることによって行なわれ、こうして検査面の走査を完全にカバーする様にした請求項32記載の渦電流表面測定配列。

【請求項36】 前記複数個の略同一の感知手段が、1回の一方向走査で完全な検査をする位に十分に分布している請求項32記載の渦電流表面測定配列。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【関連出願】この発明は、像の処理の為に、複数個の同期した空間的に相関性を持つ別々の渦電流測定信号を収集する方法と装置を発明の内容とする係属中の米国特許出願通し番号（出願人控え番号RD-21, 171）、発明の名称「非破壊的な面のきずを検出する方法と装置」と関連を有する。係属中の米国特許出願通し番号（出願人控え番号RD-18, 565）、発明の名称「多重周波数渦電流感知」には、非破壊的な渦電流検査を用いて、表面近くのきずを検出する時の分解能及び特徴を改善する方法が記載されている。この両方の係属中の米国特許出願は出願人に譲渡されており、その内容をこゝで引用することにする。

【0002】係属中の米国特許出願通し番号第504769号（1990年4月5日出願）、発明の名称「可撓性相互接続方式」には、難しい面の形状を検査する為の可撓性の空間的に相関性を持つ渦電流プローブ配列を作るのに適した多層多成分集積製造技術が記載されている。この出願も、出願人に譲渡されており、その内容をこゝで引用する。

【0003】

【発明の分野】この発明は全般的に渦電流プローブ配列、更に具体的に云えば、可撓性の多層の一体化した渦電流プローブ配列としてカプセル封じされた精密に同じプローブ素子に関する。

【0004】

【発明の背景】非破壊的な渦電流技術は確立された技術であり、種々の検査方式が存在する。典型的な方式は、誘起される磁束を強化する為にフェライト鉄心を取り囲む場合が多いが、結合された多重ターンの誘導コイルを利用している。1つの誘導コイルが駆動コイルであって、検査される導電部品の表面の極く近くに配置され、交流源によって駆動されて、導電面の中に入り、その下方に抜ける磁界の束を作る。この磁束が導電部品に局所的な電流を流れさせる。この局所的な電流の流れが、それ自身の相互磁束を誘起する。相補的なコイル、即ち感知コイルが、導電部品に電流が流れたことによって生じた磁束によって相互に誘起された電流を受取る様に作用する。コイルの間の結合が、導電部品自体を通じて行なわれる。導電部品の表面近くの完全さにきず又は欠陥があると、誘起された電流の流れが乱れる。この乱れは、感知コイルによって検出された電圧の変化として検出することが出来る。

【0005】標準的な渦電流検査装置は、典型的には、ステーブリ、ユニウエスト、フォエルステル及びNDTプロダクト・エンジニアリングを含むいろいろな製造業者によって作られたプローブを利用している。一般的にこう云うプローブは、互いに接近して配置された、駆動及び感知コイルとして作用するコイル素子を持っている。プローブは巻き方及びコイルの接続が異なることがある。応答信号の感度が相加的になるか減算的になるかに合せて、コイルは同じ向きに巻いてもよいし反対向きに巻いてもよい。例えば、分割鉄心差動プローブのコイルは同じ向きに巻かれるが、記録ヘッドのプローブのコイルは反対向きに巻かれている。一般的に、減算形又は「差動形」プローブは、ブリッジ回路を利用したインピーダンス検出モードを利用して作用する。差動形プローブは平面内のきずの検出に敏感で、渦電流試験に役立つが、ブリッジ回路による検出は欠点になることがある。反射モードで動作するプローブの1つの利点は、夫々のコイルの駆動及び感知信号が、差動形感知コイルの形式と共にブリッジ回路動作モードを使った場合よりも、一層容易に分離し得ることである。典型的な感知コイルの形式としては、絶対値及び差動形式がある。絶対値形式は、検出の為に一定の基準を利用し、これは校正に役立つ。差動形のプローブは、大地だけを基準として、ブリッジ回路を検出の為に利用する。手動又は機械的な走査モードを使って、プローブから応答信号が集められる。駆動コイルは典型的には個別コイルとして、又は連続的な蛇行線として形成して、外部の交流源によって駆動される一様な隣接した平行なセグメントが得られるようにする。ブリッジ回路形式を用いて、同じコイルで駆動及び感知の両方に動作させることも可能である。

【0006】検査される導電部品の表面に沿って走査することは、関心のある全ての領域をカバーする様に、導電面にわたってプローブを動かすことによって行なうのが典型的である。検査装置は同相成分（I）及び直角位相成分（Q）と云う複素数の正弦状成分に分解される1つのプローブの時間的なグラフを表示する場合が多い。成分の表示は、オシロスコープ又は条片チャード記録装置を用いて行なわれる。走査通路に沿ったどこかにきずが存在するかどうかを判定する為に信号の閾値作用を利用する時の主な問題は、背景雑音より高い、乱れによるきず信号を識別することである。渦電流プローブ自体が大きな変動原因であるので、この問題は更に複雑になる。1つのプローブを用いた走査によって測定値を集めるこの方式を使って作像することは、時間がかゝると共に手間がかゝる。更に、この様にして得られた像は、プローブと検出すべききずとの間の圧倒的な、相対的な寸法の違いにより、空間的にぼける。本質的に空間的な相関性を持つ測定配列を使うと、1回の走査で複数個の測定値に対する別々に集められたデータを同時に収集することが出来る。空間的な相関性を持つ測定配列を用いた

時の検査面の走査の必要条件は、1個のプロープの場合の様な2次元ではなく、1次元になる。配列は一方の次元を他方に対して空間的に相関させる。この為、一方の次元に於けるデータの収集は、他方の次元に於ける走査によって収集される、と云うのが本質的である。追加の走査用の次元を有効に除去することが出来るかどうかは、略同一のプロープ素子からなる空間的な相関性を持つ測定配列が得られるかどうかにかかっている。この様な配列を使った1次元の走査であれば、ずっと早く出来る。

【0007】小さなきずの検出に対するプロープの感度は、プロープの感知コイルの寸法によって制限される。この寸法を小さくして、きずを検出する感度を改善する為の小形化の必要が認識されている。然し、従来の製造技術では、必要な小形化を達成することが出来なかった。きずに較べてプロープの寸法を小さくする他に、プロープ配列の素子は実質的に同一でなければならない。従来のコイル製造技術では、こう云う条件を達成することが出来なかった。

【0008】更に、従来の走査は、広い範囲の幾何学的に難しい検査面に対しては適用することが出来ない。従来のプロープ配列は、こう云う形状の走査が出来る様な可撓性の特徴が欠ける。従来のプロープ配列を用いた走査では、整合の特徴が欠け、この為整合に時間がかかり、走査時間の有用性を減ずる。

【0009】

【発明の目的】この発明の目的は、多層の一体化した空間的な相関性を持つプロープ配列を提供することである。この発明の別の目的は、精密製造であって、実質的に同一のプロープ素子で構成されたプロープ配列を提供することである。

【0010】この発明の別の目的は、従来は検出出来なかったきずを検出出来る位に小さいプロープ素子を提供することである。この発明の別の目的は、選択的に相互接続されたプロープ素子の間に仮想の大地又は相互の基準電位を用いることである。この発明の別の目的は、検査面の1回の一方の走査でデータ収集が出来る様な形に配置された、十分に分布したプロープ素子を持つプロープ配列を提供することである。

【0011】この発明の別の目的は、困難な検査面に対処する様に、可撓性をもって同形になる特徴を有する渦電流プロープ配列を提供することである。この発明の別の目的は、従来の走査に普通伴っていた整合の問題を最小限に抑えることである。この発明の別の目的は、検査速度、精度、分解能及び信頼性を改善することが出来るプロープ配列を提供することである。

【0012】

【発明の要約】この発明は全般的に渦電流プロープ配列に関する。更に具体的に云えば、複数個の相互接続された、小形化した十分に分布した渦電流プロープ素子で構

成される一体にしたマイクロエレクトロニクス部品のプロープ配列に関する。更に特定して云えば、この配列は、高密度相互接続(HDI)精密処理を用いて、可撓性をもって同形になる構造の中に製造される。HDI集積部品製造方法は、実質的に同一である精密級の多層の多重ターン・プロープ配列の素子と、夫々の電気接続部とを作る。部品としてのプロープ素子は、部品としてのコイル素子を有し、その巻線はHDI製造技術を用いて、普通のプロープによっては従来検出することが出来なかったきずを検出出来る位に小さく作ることが出来る。プロープ配列を使うことにより、データ収集も早くなる。プロープ配列が、複数個の小さな、可撓性を持って相互接続された、事実上接地された渦電流コイル素子に分けて製造され、空間的に堅固な「配列プロープ」として、不規則な導電面の検査が出来る様に同形の面に固定することの出来る可撓性の2次元プロープ配列となる。走査の為、導電面が配列のプロープ感知面の範囲内にもって来られる。複数個の素子が可撓性を持つ多重製造層の間に配置された配列として配置され、これらの層を介して接続され、可撓性の基板に固定される。略同一の複数個の素子は、1回の走査で、配列の有効面の包括的な幅に対応する導体区域を適切に検査するのに十分な程度に分布している。大きな又は幾何学的に難しい導電面を同時に検査する為の表面走査は、この様な配列プロープを使うことによって、早く且つ確実に行なわれる。走査及び再構成に要する時間が短縮される。配列の複数個のプロープの各々の寸法、形及び励振駆動は、検査の変化する条件に合う様に、設計事項として予め決定することが出来る。それらを合わせて、こう云う特徴が、例えば自動化渦電流検査装置による並列像処理の為、大きな又は不規則な導体面の1回の一方の走査で、空間的に相関性を持つ別々の複数個のプロープ測定値を収集することが出来る渦電流配列プロープになる。このプロープ配列は、従来のプロープ走査方式を用いてはこれまで達成することが出来なかった様なきずの検出、特徴づけ及び分解能が得られる様に像を処理する為の個別に分けた信号に適当に形式を定めることが出来る様な形で、測定値を収集する。

【0013】この発明の新規な特徴は特許請求の範囲に具体的に記載してあるが、この発明の構成、作用は、その他の目的及び特徴と共に、以下図面について詳しく説明する所から、更によく理解されよう。

【0014】

【実施例の記載】図1は、平行なセグメントを持つ連続的な蛇行駆動コイル素子3と共に利用される絶対値形式の6個の1ターンの単一層感知コイル素子で構成された単純な多層渦電流プロープ配列0の平面図を示す。これは、駆動素子及び感知素子を普通の「コイル」形以外の形で構成することが出来ることを例示する目的で示した非常に単純なプロープ配列の設計である。当り前のコイ

ル巻線が、渦電流プローブ配列素子にとって必ずしも特性的なものではない。駆動コイル素子が淡い陰影線3で示されており、瞬時的な電流の方向が矢印で示されている。6つの感知コイル素子は、より濃くて幅の狭い線（その1つを6で示す）で示した略同一の1ターンのコイルである。駆動コイル素子3が第1の層に配置され、感知コイル素子は多層構造0の少なくとも第2の層に配置される。こう云うコイル素子の相対的な幅は同じであっても異なっている。図1では、プローブ素子の同一の垂直素子は互い違いになっている。各々のプローブ素子6を垂直方向で隣接するプローブ素子7に対して互い違いにするのは方向1に沿って行なうが、これによって好ましい走査方向は矢印2で示す様になる。プローブ素子6、7が互い違いにずれていることにより、方向2の走査が完全にカバーされ、感知能力の欠けるゼロ位置が避けられる。プローブ配列は、図では8で示した包括的なプローブの有効幅によって定められる走査幅をカバーすることが出来る。配列に対して電気接続を施す為の電気接点パッドは、特定の場所に付ける場合が多い。この様な特定の場所が、4、5で示す様に、配列の両側に示されている。

【0015】図2及び3は、同じ層内に作られた非常に簡単な駆動及び感知素子の平面図及び斜視図であり、これに対して図4は、高密度相互接続多層製造技術を用いて一層構造に製造されたこの単純な駆動及び感知素子の断面図である。図2の平面図では、素子は淡い陰影及び濃い陰影によって区別されているが、何れの素子も駆動又は感知素子として作用することが出来る。見易くする為、図示の素子はメタライズしたセグメントの幅を変えてある。これは例示の便宜の為であって、セグメント素子が同じ幅を持つことを妨げるものではない。こう云う非常に単純な感知及び駆動素子は、更に複雑な形でよく理解される様にする為、層内及び層間にプローブ素子を配置する様子を判り易くする為に示したものである。例として、図2及び3では、素子12が駆動素子、素子14が感知素子として選定されている。同様に図5及び6では、素子16、18が夫々駆動及び感知素子として選定されている。検査面を介して有効な誘導結合が出来る様にする為には、感知素子のセグメントが駆動素子のセグメントに密に接近して位置決めされることが必要である。こう云う素子が互いに接近していることが、図2、3、5及び6に見られる。図4は図2及び3の単一層構造9を13に示す様に切断した時の断面図である。図4の単一層構造9は、E. I. デュポン・ドゥ・ネムアース・カンパニーから入手し得るポリイミドであるカプトン（登録商標）の様な可撓性の基板11を持ち、その上に感知素子14及び駆動素子12で構成されるメタライズ・パターンが直接的にか、又は中間の誘電体層（図面に示してない）を最初に配置した後に設けられて構成されている。この金属パターンを配置するに

は、最初にスパッタリング又は電気めっき技術を利用してメタライズ層を沈積して、例えばチタン及び銅を沈積し、その後適当なフォトリソストを用いてパターンづめて、メタライズ層から駆動及び感知素子のパターンを放射に対して露出する。その後、エッチング工程が、パターンづめた素子12、14以外の全部の金属を侵食によって除く。この様なメタライズ、パターンづめ及びエッチングの各工程は、小さな寸法で精密さ及び一様性を達成することの出来る光写真製版製造技術を用いて行なわれる。高密度相互接続（HDI）技術はこう云う製造方式を使える様にする。HDI製造技術が係属中の米国特許出願通し番号米国特許出願第504769号に詳しく記載されている。感知素子のセグメント14及び駆動素子のセグメント12の幅は同じであっても異なっている。メタライズ工程の後、シロキサン・ポリイミドの様な誘電体層19を回転被覆によってその上に適用する。図7は、図5及び6の二重層構造10を17の所で切った断面図である。同じ様な製造手順を使う。然し、メタライズ及び誘電体適用工程を繰返し、図示の多層構造10にする。可撓性の基板11に直接的に（又は間接的に）駆動素子16の金属の沈積及び光写真製版方によるパターンづめをした後、シロキサン・ポリイミドの様な誘電体層をその上に適用する。この誘電体層19の上に、別のメタライズ層を沈積し、光写真製版手段により、感知素子18のパターンづめを行なう。その後、シロキサン・ポリイミドの様な別の誘電体層を沈積する。駆動素子16に較べて、感知素子18の幅が違うこと並びに相対的にずれていることに注意されたい。図4及び7は、高密度相互接続製造技術を用いて、可撓性の多層プローブ配列の素子を製造する時に利用し得る幾つかの層間及び層内形式の選択を利用し得ることを示している。HDIによる製造では、普通的手段によっては従来達成することが出来なかった様な水準の複雑さ及び精密さを達成する為、光写真製版手段を用いて可撓性の基板が使える。

【0016】図8は、折返しの蛇行配置として配置され、その下にある層内に配置された長い平行なセグメントを持つ1個の駆動素子と、少なくとも1つの別の重なる層内に配置された関連する4つの感知素子とを持つ単純な渦電流プローブ配列のある典型的な素子を示している。駆動素子21は図面では淡い陰影で表わしてあり、それが多層構造の第1の層内にあることを示す。駆動素子に於ける電流の流れの方向を矢印で示す。更に濃い陰影の4つの感知素子が、図面では、その下にある駆動素子よりもメタライズ幅が一層狭いものとして示されている。単一層構造の感知素子に対する種々の形式としては、絶対値形式の単一ループ23、絶対値形式の二重ループ24、差動形式の単一ターン二重ループ25、及び差動形式の二重ターン二重ループ22がある。単一ループの寸法並びに多重ループ感知コイルのループの数及び

ターン数は、特定の用途に対する設計に合わせて変えることが出来る。感知素子23は、絶対値形式の単一ターンで単一層の感知素子であって、その下にある駆動素子21に密に接近して配置される。感知素子24はやはり絶対値形式の二重ターンの単一層の感知素子であって、感知素子のターンのセグメントが、駆動素子21のその下にある平行なセグメントの近くに位置決めされる様に配置されている。感知素子は、多重ターンを種々の形式に接続することによって特徴づけることが出来る。感知素子25は、差動形式に接続した2つの単一ターンで単一層のコイル素子を示しており、濃い四角27、28の間にある短いセグメント26は、コイル素子のターンがある層とは別の層の中に配置されている。コイル素子が同一である時、この接続により誘起コイル電圧が同一であるとすれば、共通の基準電位として作用する「見かけの接地」になる。これは物理的な接地接続を省き、こうして渦電流プローブ素子の設計を本質的に改善する。27、28に示した層間メタライズ接続部は、導電通路26を別の層に方向転換して、素子の電気的な短絡を避けている。然し、両方のターンは同じ層内にある。差動モードに接続された2つの二重ターンで単一層のコイル巻線で構成される同様なコイル素子が22に示されており、各ループの二重ターンは同じ層内にある。こう云う形式を示したのは、渦電流プローブ配列を作るのに、層形製造方式を用いて、プローブ素子の設計にどの程度の融通性が得られるかを示す為である。

【0017】図9は、その1つを数字37で示した4つの二重層で多重ターンの従来のプローブ配列コイルの平面図である。コイルは互い違いにしない形式で示してある。この形式はプローブ配列として使うには適していないことがあるが、従来の感知及び駆動コイル素子の外観を示している。コイル32、34が同じ方向に巻かれ、残りのコイル36、38は反対向きに巻かれている。代表的な接続線31がコイル素子32を接点パッド33に電気接続する。他のコイル素子34、36、38の各々が同様に夫々の接点パッドに接続される。コイルは、こう云う接点パッドを用いて、互いに並びに外部電源及び出力導線に電氣的に接続される。プローブ試験素子30は2つの層で構成され、各層が4つの同一平面のコイルを持っている。図9の平面図は、上側層32、34、36、38のコイルだけを示している。同様な4つのコイル（図面に示していない）が図9に示した層の下にある層内に配置されている。代表的な接続線35を破線で示して、下にある層内に配置された同様な配置の下側のコイル（図面に示していない）に対する電気接続を示してある。こう云うコイルは、それに対して適当な電気接続を施すことにより、感知及び駆動コイルとして選定される。選定された感知及び駆動コイルが互いに接近して配置され、検査される面を介して十分な誘導結合が得られる様にしている。駆動コイルが外部の交流源（図に示し

てない）によって電氣的に駆動される時、選定された感知コイルが選定された駆動コイルと応答の点で協働する。駆動源が選定された駆動コイルの夫々の接点パッドの間に接続される。同様に、出力導線が選定された感知コイルの夫々の接点パッドの間に接続される。

【0018】図10及び11は、別々であるが隣接した層の中に配置されていて、中心でプローブ素子としては直列になる様に接続された2つの3ターンのコイル巻線50、60で構成されるコイル素子45の平面図及び斜視図である。下側にあるコイル巻線50の淡い陰影にした一層幅の広いコイル・セグメントが、図12に示す様に、コイル60を配置した第2の層20より下方にある第1の層19内に配置されている。コイル60は一層濃い陰影の一層幅の狭いコイル・セグメントとして示されている。濃い四角68は夫々のコイル層19、20の間の層間電気接続部を示す。この接続部は、第2のメタライズ層をその上に適用する前に、誘電体層19に精密な孔をレーザ・ドリル加工又は化学的な形成方法によって形成することによって作られる。矢印59、69は、ある時点でコイル素子45を通る電流の方向を示す。図12の断面図は、図10及び11の数字40で示す様に切断したものである。断面で示した図12の各々のコイル・セグメントに於ける瞬時的な電流の流れが、普通の記号を用いて示されている。“+”は図面の平面に入り込む電流の流れを示し、“・”は図面の平面から出て来る電流の流れを示す。高密度相互接続（HDI）方法を用いて、コイル素子45を多層に製造する様子を断面図で判り易くする為、図10乃至図12では、可能な限り、コイル・セグメントを表わす数字は同じものを使っている。この方法は、支持体（図に示していない）に結合した、E. I. デュポン・ドゥ・ネムアース・アンドカンパニーから入手し得るポリイミドであるカプトン（登録商標）の様な可撓性の基板11に最初にコイル50をパターンづめすることを含む。支持体は収縮、しわ寄り等を避ける為に、HDI処理全体にわたって、可撓性の支持体11を支持する為、コパール（登録商標）鋼で作るのが典型的である。希望によっては、基板11はフェライト材料にすることが出来る。基板11は、加熱された時に可逆的な結合部を形成する、ゼネラル・エレクトリック・カンパニーから入手し得るULTEM（登録商標）ポリエーテルイミドの様な熱可塑性接着剤（図に示していない）を用いて予備処理することにより、支持体に接着性を持って積層する。こうすると、HDI処理の後には、可撓性の基板11を支持体から除去するのが容易になるが、製造過程の間は安定なままにとどまる。処理が出来る様に、その他の点では薄べらかな可撓性の極く薄い渦電流プローブ配列を支持する為に、何等かの支持手段を設けなければならない。可撓性のカプトン基板11は厚さ12.5乃至25ミクロンであるのが普通である。メタライズ・パターンを適用する為に、エッチ

ングした金属を用いる光写真製版手順を使う。メタライズ層を適用するには、チタン又は銅の様な金属をスパッタリングした後、電気めっきするか或いは単に電気めっきする。パターンぎめは、図12に断面で示すセグメント51, 52, 53, 54, 55, 56, 57に対応する平面状の3ターンのコイルの第1の層を、図示の瞬時的な電流の流れを用いて形成することを含む。用途に応じて、このメタライズ部は可撓性の基板に直接的に適用してもよいし、或いは中間の誘電体層（図に示してない）を沈積し、その後からその上にコイル50をパターンぎめしてもよい。パターンぎめは、メタライズ部の上でレーザに露出する光写真製版法のレジスト・プロセスを使い、その後塩化第二鉄の様なエッチャントを用いてエッチングすることによって行なうのが普通である。コイル50のパターンぎめの後、シロキサン・ポリイミドの様な誘電体層19をその上に回転被覆法によって沈積する。カプトン基板11の上に直接的に（又は中間の誘電体（図に示してない）を介して間接的に）パターンぎめした各々のメタライズ・コイル層は、その上に、この後でシロキサン・ポリイミドの様な誘電体の層を回転被覆法で沈積することによって、この層によって覆われる。この代りに、シロキサン・ポリイミド/エポキシ接着剤（図に示してない）を用いて、別のカプトンをこの構造に積層してもよい。メタライズ層の厚さは約0.2ミルである。メタライズしたコイルの幅は1乃至2ミルである。コイル巻線が隔たる距離は1乃至4ミルである。層間コイル巻線の間の誘電体層の隔たりは0.5乃至1.2ミルである。必要があれば、誘電体の大きな部分をレーザによる削摩によって除去することが出来る。典型的な電気接続用の「バイア」孔を適用した誘電体層にレーザによってドリル加工して、上面の接続箇所をその下にある適当な接点パッドと整合させる。接続バイアは、メタライズによって作られた層間の電気接続部を同一平面の層に対して略法線方向にする。注意しなければならない最も重要なことは、二重層コイル巻線50, 60の間の中心バイア68によって直列の電気接続が施されることである。典型的なバイアは寸法が約1ミル四方であり、メタライズ部を一樣にカバーする様に、約60°の傾斜で下向きにテーパがついている。ドリル加工したバイア孔から破片及び残留被膜を除去する為に、短いプラズマ・エッチを使う場合が多い。レーザによるドリル加工は、有効な電気接続部及びコイルの設計にとって決め手になるバイアの輪郭の信頼性のある精密な制御を保証する。適当なバイアを作るのに、化学的な手段もある。ドリル加工工程の後、スパッタリング又は電気めっきを用いて、第2のメタライズ層を誘電体層19の中に約2乃至20ミクロンの深さまで同様に沈積して、バイア孔68に入り込む様にすると共に、その下に配置された接点パッド54に対する電気接続を施す。コイル60の矩形巻線61, 62, 63, 64, 65, 66, 67

の様な複雑なメタライズ・パターンが、スパッタリング又は電気めっきを用いて、連続的な金属層を沈積し、その後フォトリソを放射に露出することによってコイル巻線をパターンぎめすると共に、HDI過程の光写真製版工程で適当なエッチャントを用いてエッチングすることによって作られる。エッチングしたメタライズ条片の幅は、0.0015吋で0.0035吋のピッチを達成し得る。その上に誘電体の別の絶縁層20を適用する。電流はコイル50, 60に同じ向きに流れる。誘電体層を適用した後、ドリル加工、メタライズ、パターンぎめ及びエッチングを行なうことが、複雑な多層構造を作る為に繰返すことの出来る工程である。54に示す様な接点パッドの整合及び製造はコンピュータで制御する。この制御は位置情報に基づいて行ない、熱の散逸、インピーダンス制御等に示す様に、応じた設計配置を促進する。HDI製造は、動作特性の変動を補償する様なプローブ・パターンの設計を作る適応形の相互接続部を作る為のコンピュータ化能力に適している。こう云う適応制御の特徴により、精密で密度の高い相互接続部を持つ渦電流プローブ配列を高い信頼性をもって素早く、一貫性をもって大量に製造することが出来る。便宜から云うと、電気接点は縁に設けるのが普通であるが、どこで接続を施すことが出来るかは設計によって決まる。I/Oの条件並びに特定の用途の条件に応じて、接続及び取付けを注文製にしたり或いは標準形にすることが出来る。夫々のバイアに対する導電導線（図面に示してない）は、各層のメタライズ過程の一部としてパターンぎめする。導電導線が、1つの層内の種々のプローブ素子部品からの信号をHDI構造の縁まで伝達し、外部の電流源及び出力装置に接続出来る様にする。一番上の誘電体20を適用するのは、不活性化層を構成するものである。時には、レーザによる削摩を利用して、必要な場合に多層の沈積物を削り取る。その後構造58を予め成形されたフェライト基板（図に示してない）の上に積層することが出来る。このフェライトは可撓性であってよい。フェライト支持板（図に示してない）が存在することは、導電性の検査面に対する磁束の入り込みを強化する様に作用する。フェライトの導電度に応じて、フェライトと金属コイル巻線の第1層との間に誘電体層を介在させることが有利であることがある。支持体（図に示してない）は、HDI処理が完了した後、適当な加熱によって取除く。

【0019】図13は、1つの層41のコイル素子巻線を別の隣接する層42の巻線に対してずらす選択を用いた場合を示す。金属のコイル巻線の相互の相対的な位置ぎめにより、巻線の間の容量結合が左右される。その強度が、夫々の巻線の幅43, 44とその間の誘電体の隔たり46とに関係する。図13は、巻線の幅を独立に選ぶことだけでなく、巻線の間の間隔も独立に選ぶことを示している。巻線の幅43, 44及び間隔47, 48

が、各々のコイルの「ピッチ」49, 94を定める。各々のコイル素子に対するピッチをどうするかは、設計の選択事項である。

【0020】図14は、隣接していない別々の層に沈積された2つの3ターンの二重コイル素子70, 80の平面図である。図15及び16は、コイル素子70, 80からなる複合多層構造の平面図及び対応する斜視図である。図15の断面図は、図15及び16の数字85で示す断面で切ったものである。各々のコイル素子の対は、2つの平面状コイル巻線で構成される。コイル素子70は夫々層19, 74内にあるコイル巻線71, 72で構成され、その間に層20が介在している。コイル素子80は夫々層75, 20にあるコイル巻線81, 82で構成され、その間に層74が介在している。各々のコイル素子70, 80は、図12に示すのと同様に、多層構造76を形成する様に製造されるが、その間に中間層が介在している。上側のコイル素子80の下側のコイル巻線82が、下側のコイル素子70の中間層に配置され、下側のコイル素子70の上側のコイル巻線71が上側のコイル素子80の中間層に配置されている。コイル70の中心の「パイア」接続部77が図15及び16に示されている。電流の流れが図14, 15, 16の矢印で示されており、図17の断面で示したコイル・セグメントに“+”及び“-”の普通の記号で示されている。やはり、巻線の幅、隔たり及び相対的なずれは、所定の用途に合せて選ばれる設定事項である。各々のコイルは、外部の電流源（図に示していない）によってどちらが駆動されるかに応じて、駆動コイル又は感知コイルとして利用することが出来る。事実、両方のコイルが外部から駆動される場合（図に示していない）両方のコイルが2つの駆動コイルとして作用することが出来、両方が外部から駆動される駆動コイルに誘導結合されていれば、2つの感知コイルとして作用することが出来る。駆動コイルは、検査面から一番遠い層内に沈積することが出来、その下にある感知コイルよりもコイル幅を一層広くすることが出来る。特定の形式で駆動コイル及び感知コイルを区別することにより、プローブ配列の一方の面をプローブの感知面として定めることが出来る。この場合、コイル巻線81, 82で構成されるコイル素子80が駆動に使われ、コイル巻線71, 72で構成されるコイル素子70が感知に使われる場合、面83がプローブの感知面として定まる。

【0021】図18は、その上に2次元の可撓性のHDI法で製造された渦電流プローブ配列76を適当に面結合することの出来る様な走査型90を作る為に、フェライト又は他の何等かの鉄心材料を使うことを例示している。この配列のプローブ感知面83が、検査される導電面91と同形になる様に露出している。この同形性が、面を同形にする型90によって得られる。固定された時、プローブ感知面83は、検査される不規則な面91

に対し、反対の符号で密なはめ合せの補間体を形成する。面を同形にする走査型90の面全体又は又は面の一部分だけが、2次元の可撓性を持つ渦電流プローブ配列76が占めてもよい。渦電流プローブ配列を走査型90に固定することにより、従来の走査手段によっては検査することが出来なかった困難な形状の検査が促進される。これは、工業用の設定条件で検査を行なうのに特に役立つ。検査面91が、図14-17の平面に対して法線方向とする並進軸線に沿って、並進対称性を持つ場合、検査面91に沿って型90を1回、軸方向に並進させるだけで、検査を達成することが出来る。これは、プローブ感知素子が1回の走査で完全にカバーする位に十分に分布していることを前提としている。

【0022】駆動及び感知コイルがそれと見て判る「コイル」の形でない様なこの他の渦電流プローブ配列の設計も、この発明の範囲内で考えられる。駆動コイルを長くして平行な蛇行形の駆動線セグメントの形にして、隣合った平行な駆動線セグメントで電流の流れが交互に反対向きになる様にすることにより、十分な様な駆動作用を行なうことが出来る。感知線は結合を促進する様に、駆動線の近くに位置ぎめすることが推奨される。前に述べた様に、感知コイル素子を互い違いにすることは、走査を完全にカバーし、感度のゼロ点をなくす様に十分にしなければならない。駆動コイルの設計は、様な駆動が行なうことを基本としており、これに対して感知コイルの設計は検査の用途の条件並びに検査される面の特定の形状に合せるのが典型的である。形、ターン数及び寸法が変化する感知コイルを種々の形で電気的に相互接続して、重なり合う層として配置し、渦電流プローブ配列の感度を選択的に変える能力を持たせることが出来る。この様にして、同じプローブ配列の種々のコイルを選択的に駆動することにより、検査面に対する磁束の入り込みを選択的に変える。これによって、配列には固有の選択的な感度の特徴が得られる。HDI法によって製造した可撓性の渦電流プローブ配列を多重チャンネル多重周波数渦電流検査装置と共に、工業用の表面近くのきずの非破壊的な検出に使う時、測定値を収集する速度及び精度が改善され、こうして検査の効率が高まる。更に、この様な装置と共に用いる時、きずの検出及び特徴づけが、像処理に於ける並列信号処理を実施することによって改善される。こう云う改善は、複数の測定値のフォーマットを並列像処理に合せることが出来る様に、渦電流測定配列を使って複数の空間的な相関性を持つ測定値を同時に収集することによって可能になる。

【0023】この発明の特定の実施例を図面に示すと共に説明したが、当業者には種々の変更が考えられよう。従って、特許請求の範囲は、この発明の範囲内に含まれるこの様な全ての変更を包括するものであることを承知されたい。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 の層内にあって平行なセグメントを作る 1 つの蛇行形駆動素子、及び少なくとも第 2 の層内にある 6 つの 1 ターンの単一層の感知コイル素子を持つこの発明による渦電流プローブ配列の簡略平面図。

【図 2】単一層の 1 ターンの駆動素子及び関連する単一層の 1 ターンの感知素子をこの発明に従って同じ層内に作った場合を示す簡略平面図。

【図 3】単一層の 1 ターンの駆動素子及び関連する単一層の 1 ターンの感知素子をこの発明に従って同じ層内に作った場合を示す斜視図。

【図 4】図 2 及び 3 の構造を 1 3 の所で切断した断面図。

【図 5】単一層の 1 ターンの駆動素子及び関連する単一層の 1 ターンの感知素子をこの発明に従って異なる層内に作った場合を示す簡略平面図。

【図 6】単一層の 1 ターンの駆動素子及び関連する単一層の 1 ターンの感知素子をこの発明に従って異なる層内に作った場合を示す斜視図。

【図 7】図 5 及び 6 の構造を 1 7 の所で切断した断面図。

【図 8】この発明に従って多層構造として製造した平行な下側にある駆動線素子と関連する 3 つの感知素子とを持つ渦電流プローブ配列の簡略平面図。

【図 9】この発明に従って製造した 4 つの二重層の多重ターンのコイル素子の簡略平面図。

【図 10】この発明に従って製造した 2 つの単一層コイル素子で構成された二重層の多重ターンのコイルの簡略平面図。

【図 11】この発明に従って製造した 2 つの単一層コイル素子で構成された二重層の多重ターンのコイルの斜視図。

【図 12】図 10 及び 11 の構造を 40 の所で切断した断面図。

【図 13】図 10 乃至 12 に示すものと同様なコイル素子のずれと、変化する幅及び間隔を示す略図。

【図 14】図 10 及び 11 の二重層コイルと同様に夫々構成されているが、コイル素子の間に中間層を持つこの発明に従って製造された 2 つの二重層の多重ターンのコイルの簡略平面図。

【図 15】図 14 の 2 つのコイルの簡略平面図で、上側のコイルの下側コイル素子が下側コイルの中間層内に配置され、下側コイルの上側コイル素子が上側コイルの中間層内に配置されていて、これもこの発明に従って製造されたものである。

【図 16】図 14 の 2 つのコイルの斜視図で、上側コイルの下側コイル素子が下側コイルの中間層内に配置され、下側コイルの上側コイル素子が上側コイルの中間層内に配置されていて、これもこの発明に従って製造されたものである。

【図 17】図 15 及び 16 の多層構造を 85 の所で切断した断面図。

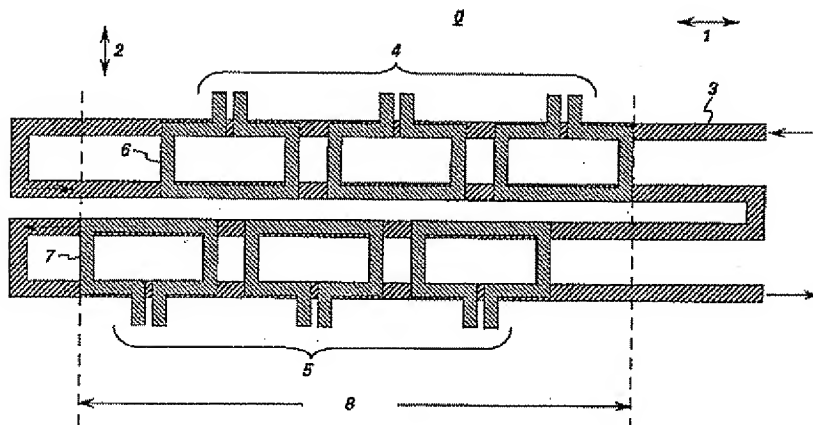
【図 18】この発明に従って作られた、フェライト材料に固定した可撓性の渦電流プローブ配列の断面図。

【符号の説明】

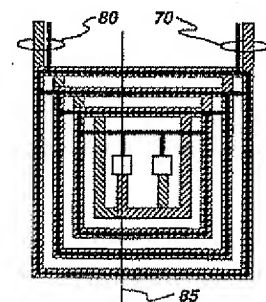
3 駆動素子

6, 7 感知素子

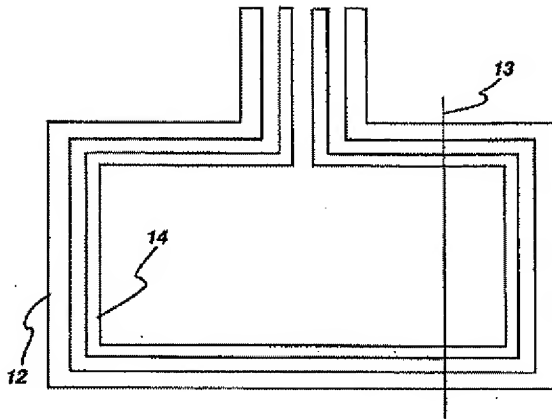
【図 1】



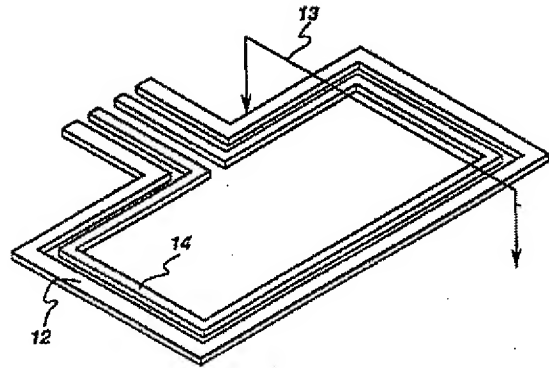
【図 15】



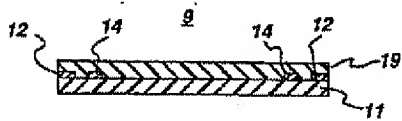
【図2】



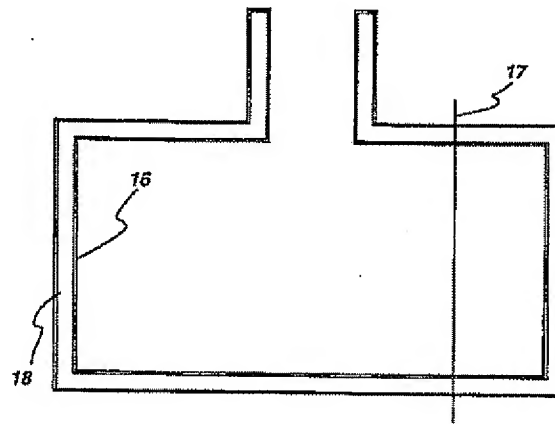
【図3】



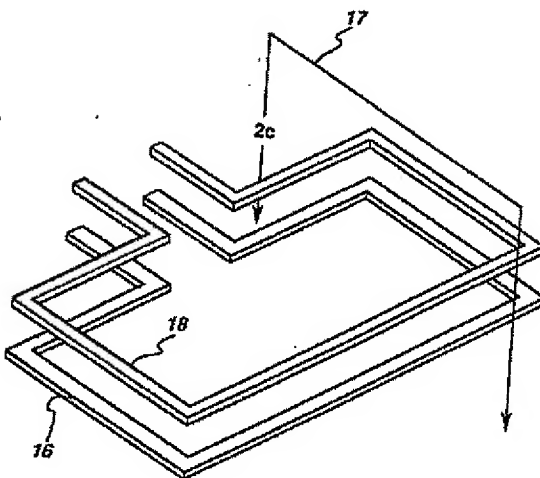
【図4】



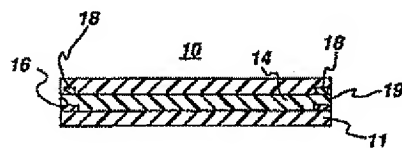
【図5】



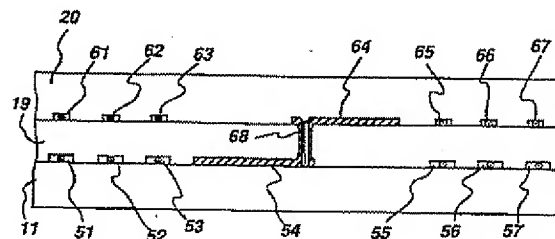
【図6】



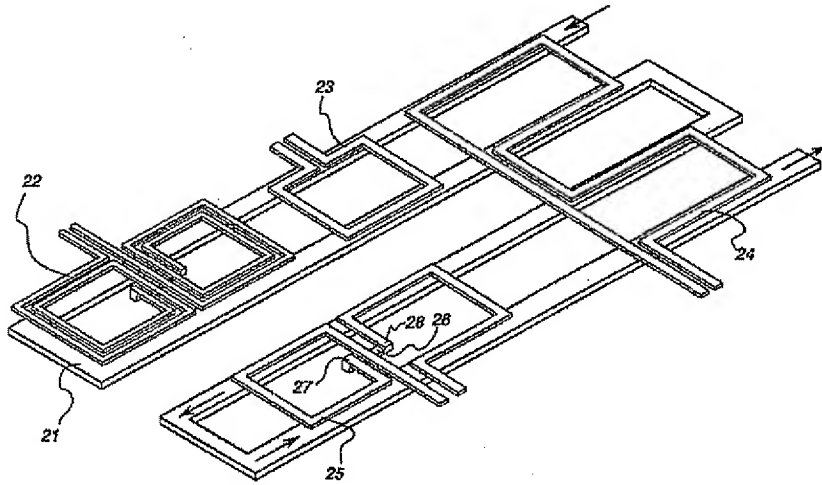
【図7】



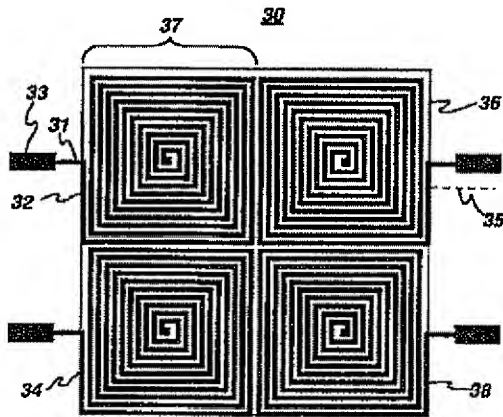
【図12】



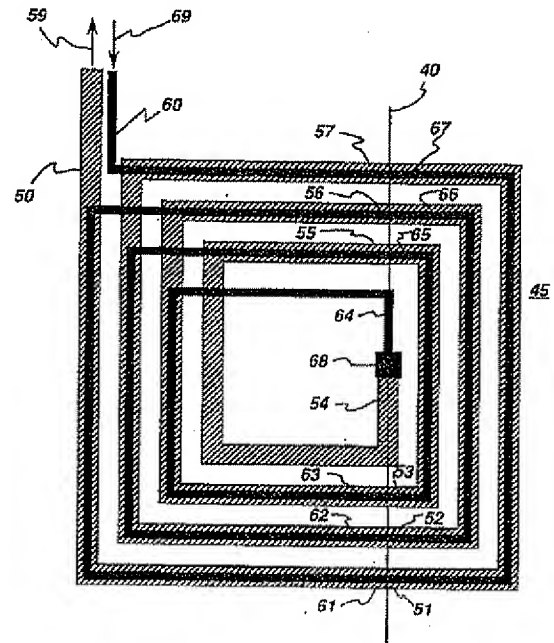
【図8】



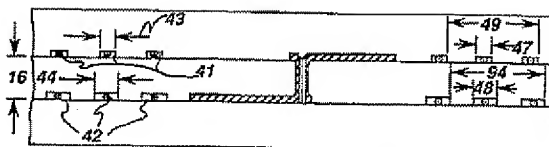
【図9】



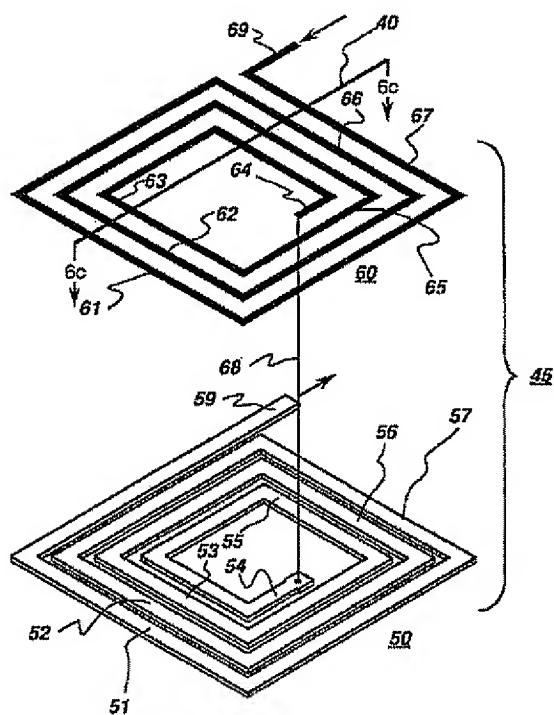
【図10】



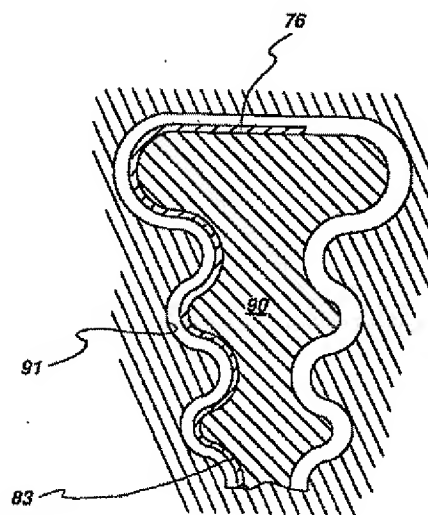
【図13】



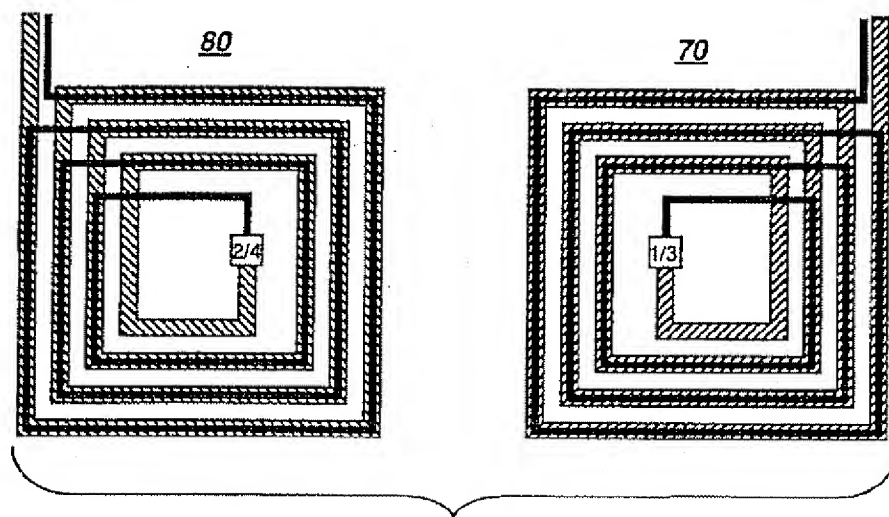
【図11】



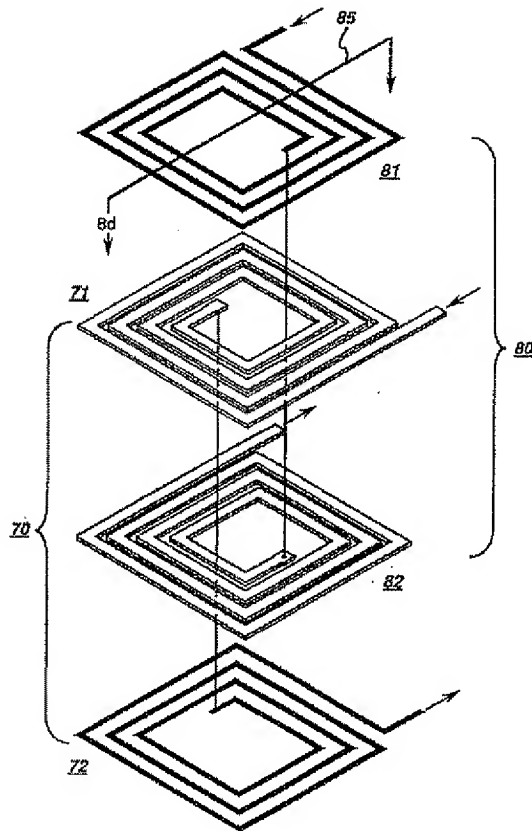
【図18】



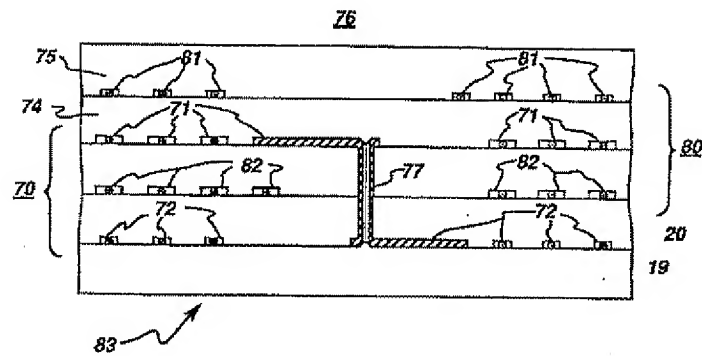
【図14】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 リチャード・オスカー・マツカリー
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
クタディ、バレンシア・ロード、1355番
(72)発明者 ロバート・フィルブリック・アレイ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、クリフ
トン・パーク、ヘムロツク・レーン、27番

(72)発明者 リチャード・ヨセフ・チャールズ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ
クタディ、ニスカユナ・ドライブ・2224番
(72)発明者 ウィリアム・ポール・コーンランプ
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、アルバ
ニイ、エルム・ストリート、218番

(72)発明者 ジョン・デビット・ヤング
アメリカ合衆国、ニューヨーク州、レック
スフォード、リバービュー・ロード、953
番